

**ESTUDIO HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DE DEMANDA EN LA CUENCA  
HIDROGRÁFICA DEL EMBALSE TOMINÉ**

**LADY ALEXANDRA BETANCOURT BELTRÁN**

**CLAUDIA MARCELA GARNICA TARAZONA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2017**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DE DEMANDA EN LA CUENCA  
HIDROGRÁFICA DEL EMBALSE TOMINÉ**

**LADY ALEXANDRA BETANCOURT BELTRÁN**

**CLAUDIA MARCELA GARNICA TARAZONA**

**Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.**

**ASESOR: CARLOS DANIEL MONTES**

**INGENIERO AMBIENTAL, MSC INGENIERIA CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2017**



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

## Agradecimientos y dedicatoria.

Expresamos agradecimientos a nuestros familiares por su apoyo incondicional y a nuestros amigos, por brindarnos su colaboración y conocimiento durante la realización de este proyecto.

Ala Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y la Corporación Autónoma Regional del Guavio – CORPOGUAVIO, por el suministro de información técnica para el desarrollo del proyecto de grado.

Al ingeniero Carlos Daniel Montes por sus aportes técnicos durante este estudio; así como el fomentar el espíritu investigativo en pro de nuestro crecimiento profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>10</b>
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	10
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2.1 Problema a resolver.....	10
1.2.2 Antecedentes del problema a resolver .....	10
1.2.3 Pregunta de investigación .....	11
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	11
1.4 OBJETIVOS .....	12
1.4.1 Objetivo general .....	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
<b>2 MARCOS DE REFERENCIA .....</b>	<b>13</b>
2.1 MARCO CONCEPTUAL .....	13
2.2 MARCO TEORICO .....	13
2.3 MARCO JURIDICO .....	15
2.4 MARCO GEOGRAFICO .....	16
2.4.1 Aspectos Generales.....	16
<b>3 METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
3.1 FASE I – RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	18
3.2 FASE II – ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	19
3.3 FASE III – ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	19
<b>4 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
4.1 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS AVES, CHIPATA Y SIECHA .....	20
4.2 MORFOMETRÍA DE LAS CUENCAS .....	21
4.2.1 Perfil Longitudinal del Cauce.....	23
4.2.2 Curva Hipsométrica.....	24
4.2.3 Zonificación Climática .....	25
4.3 ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	27
4.3.1 Homogeneidad y consistencia.....	29
4.3.2 Llenado de datos.....	30
4.3.3 Detección de datos anómalos .....	30
4.4 OFERTA HÍDRICA .....	31
4.5 DEMANDA .....	32
4.6 INDICADORES DE REGULACIÓN, PRESIÓN Y CALIDAD HIDRICA .....	34
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>40</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 ELEMENTOS QUE GENERAN PRESIÓN SOBRE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	11
FIGURA 2-1 CONCEPTOS APLICADOS EN EL ESTUDIO .....	13
FIGURA 2-2 NORMATIVIDAD VIGENTE APLICABLE .....	15
FIGURA 2-3 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA EN ESTUDIO .....	16
FIGURA 3-1 FASES METODOLÓGICAS.....	18
FIGURA 3-2 ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA FASE I.....	18
FIGURA 3-3 ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA FASE II.....	19
FIGURA 3-4 ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA FASE III .....	19
FIGURA 4-1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA Y LOCALIZACIÓN DE LOS AFLUENTES PRINCIPALES .....	20
FIGURA 4-2 PERFIL LONGITUDINAL RÍO AVES.....	23
FIGURA 4-3 PERFIL LONGITUDINAL RÍO SIECHA.....	23
FIGURA 4-4 PERFIL LONGITUDINAL RÍO CHIPATÁ .....	24
FIGURA 4-5 CURVA HIPSOMÉTRICA EMBALSE TOMINÉ .....	24
FIGURA 4-6 CURVA HIPSOMÉTRICA RÍO CHIPATÁ .....	25
FIGURA 4-8 CURVA HIPSOMÉTRICA RÍO AVES .....	25
FIGURA 4-7 CURVA HIPSOMÉTRICA RÍO SIECHA .....	25
FIGURA 4-9 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL EMBALSE DE TOMINÉ .....	27
FIGURA 4-10 DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA .....	29
FIGURA 4-11 USUARIOS CUENCA EMBALSE DE TOMINÉ .....	33
FIGURA 4-12 PUNTOS DE CALIDAD DE AGUA ANALIZADOS.....	37

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1 CARACTERIZACIÓN ABIÓTICA, BIÓTICA Y SOCIOECONÓMICA (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2008).....	17
TABLA 4-1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS .....	21
TABLA 4-2 PISOS TÉRMICOS DE CALDAS CUENCA EMBALSE TOMINÉ .....	26
TABLA 4-3 GRADO DE HUMEDAD DE LANG CUENCA EMBALSE TOMINÉ .....	26
TABLA 4-4 TIPO CLIMATOLÓGICOS SISTEMA CALDAS – LANG CUENCA EMBALSE TOMINÉ .....	26
TABLA 4-5 REGISTROS ANALIZADOS .....	28
TABLA 4-6 CORRELACIÓN ENTRE ESTACIONES CON REGISTROS DE PRECIPITACIÓN.....	30
TABLA 4-7 CORRELACIÓN ENTRE ESTACIONES CON REGISTROS DE TEMPERATURA MEDIA.....	30
TABLA 4-8 OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL .....	31
TABLA 4-9 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL .....	32
TABLA 4-10 RESULTADOS ÍNDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA – IRH .....	35
TABLA 4-11 RESULTADOS ÍNDICE DEL USO DEL AGUA – IUA .....	35
TABLA 4-12 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO – IVH.....	36
TABLA 4-13 RESULTADOS ÍNDICE DE ARIDEZ – IA .....	36
TABLA 4-14 RESULTADOS ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA – ICA .....	37

## **RESUMEN**

El presente documento evalúa la disponibilidad actual del recurso hídrico en los principales afluentes (Aves, Chipatá y Siecha) que abastecen la cuenca del embalse de Tominé, empleando la metodología del Estudio Nacional del Agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) y el Estudio de la Evapotranspiración del cultivo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006). Para este análisis se utilizaron registros medios mensuales multianuales de caudal y totales mensuales multianuales de climatología en 9 estaciones ubicadas en los municipios de Guasca y Guatavita en el departamento de Cundinamarca. Los resultados permiten concluir que la actividad agrícola es la que ejerce la mayor presión sobre la cuenca y que la demanda actual afecta de manera significativa la disponibilidad hídrica; asimismo, dicho análisis hidrológico permite inferir que se verá afectada por escasez en un mediano plazo si se mantienen las condiciones socio-ambientales imperantes en el área.

Palabras clave: Disponibilidad de recursos hídricos, Indicadores de Regulación, Presión y Calidad, Caudal ambiental, Cuenca hidrográfica, Embalse de Tominé.

## **ABSTRACT**

This document assesses the current availability of water resources in the main tributaries (Aves, Chipatá and Siecha) supply the watershed Tominé reservoir, using National Water Methodology (Ministry of Environment and Sustainable Development & Institute of Hydrology Meteorology and Environmental Studies, 2014) and Evapotranspiration Study of FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006). Additionally, this analysis uses the monthly multi-annual flow records as well as the monthly multi-annual climatology totals records. For this study, nine stations were used located in Guasca and Guatavita municipality part of Cundinamarca department. The results show that agricultural activity exerts the greatest pressure on the basin and current demand significantly affect water availability . Likewise, this hydrological analysis allows to infer that it will be affected by shortage in the medium term, if the socio-environmental conditions prevail in the sphere.

Key words: Availability of water resources, Regulatory, Pressure and Quality indicators, Environmental flow, Watershed, Tominé reservoir.



## INTRODUCCIÓN

En Colombia, al igual que en otros países, el agua representa un recurso vital que requiere ser cuantificado y administrado de manera sostenible, bajo este principio y dada la importancia que representa el embalse de Tominé como la reserva hídrica con mayor capacidad de la sabana de Bogotá fue seleccionada la cuenca objeto de análisis, de la cual hacen parte los ríos Aves, Chipatá y Siecha como principales afluentes que aportan a dicha infraestructura.

El presente estudio tiene por objeto evaluar a partir de criterios hidrológicos, la disponibilidad del recurso hídrico en los afluentes Aves, Chipatá y Siecha que hacen parte de la cuenca hidrográfica del embalse de Tominé, empleando la metodología del Estudio Nacional del Agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2014) con la cual se calculó la oferta hídrica total y disponible; así como el balance hídrico mediante el estudio de la Evapotranspiración del cultivo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006) con el cual se estimaron los coeficientes de cultivo (Kc) de los productos comúnmente sembrados en el área de interés para la determinación de la Evapotranspiración Real (ETR).

El documento consta de 5 capítulos en donde se desarrollan las generalidades del trabajo de grado; seguido de los marcos de referencia en donde se expone la normatividad aplicable, se definen los conceptos que dan claridad a la temática abordada y se describe de manera general la caracterización ambiental del área donde se localiza la cuenca objeto de estudio; posteriormente se desarrolla la metodología sobre la cual se realiza el análisis de la información obtenida; luego se detalla el análisis de resultados que dan cuenta del estado actual de la cuenca que alimenta el embalse de Tominé y finalmente se presenta un apartado destinado a las conclusiones y recomendaciones en donde se destaca el resultado final obtenido con el desarrollo del presente estudio y se proponen algunas sugerencias que aportan a la protección del recurso hídrico. Cabe mencionar que el presente estudio, enfoca su análisis aguas arriba del embalse de Tominé.

Frente a la información cartográfica del presente estudio, ésta fue generada bajo sistema de referencia Magna – Sirgas, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 68 de 2005 (<http://www.alcaldiabogota.gov.co>, n.d.).

Finalmente, los resultados de este estudio, aportan en la administración de la cuenca de los Ríos Aves, Chipatá y Siecha, proporcionando un diagnóstico sobre la disponibilidad hídrica actual y la estimación de indicadores objetivos de regulación, presión y calidad que permiten identificar las presiones que actualmente inciden sobre el recurso hídrico y aportar al proceso específico de toma de decisiones por parte de los diferentes actores estratégicos responsables de la sostenibilidad ambiental de este recurso.

## **1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con las líneas de investigación definidas por el comité central de investigaciones de la Universidad Católica de Colombia y dado que el objetivo de la investigación, está orientado a garantizar una gestión eficiente en la administración y aprovechamiento del recurso hídrico se considera que el proyecto se ajusta dentro de la línea de investigación Desarrollo Humano y Sostenible. (Consejo superior Universidad Catolica de Colombia., 2016).

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 Problema a resolver**

Diagnosticar el comportamiento de las cuencas de los ríos Aves, Chipatá y Siecha en términos de cantidad, calidad y uso.

#### **1.2.2 Antecedentes del problema a resolver**

La cuenca del embalse de Tominé ha sido intervenida principalmente por la agricultura y ampliación de la frontera agrícola para el cultivo mayormente de papa en áreas con pendientes fuertes, así como el uso de uso excesivo de fertilizantes químicos y plaguicidas que se traducen en cambios en la composición física, química y biológica de los suelos y que repercuten en el agua; los vertimiento de desechos orgánicos de las granjas y la disposición de los residuos orgánicos a los cauces naturales, generando una fuerte presión en la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca, en términos de calidad y cantidad (Figura 1-1).



**Figura 1-1 Elementos que generan presión sobre la disponibilidad hídrica**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

### 1.2.3 Pregunta de investigación

¿En qué medida las actividades antrópicas inciden en la disponibilidad del recurso hídrico?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

La viabilidad del presente estudio radica en la importancia que representa el recurso hídrico para los habitantes de los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé; así como de la ciudad de Bogotá, debido a que es su fuente de abastecimiento. Adicionalmente, al aplicar técnicas de análisis se podrá tener una visión hidrológica del estado actual del recurso hídrico brindando información de calidad, cantidad y uso en la cuenca de los ríos Aves, Chipatá y Siecha.

Finalmente con este estudio, se benefician los actores estratégicos del área de interés, en la medida que puede promover estrategias para incentivar en los usuarios la racionalización del agua en pro de la conservación de dicho recurso en el área de estudio.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar a partir de criterios hidrológicos, la disponibilidad del recurso hídrico en los afluentes Aves, Chipatá y Siecha que hacen parte de la cuenca hidrográfica del embalse de Tominé, con el fin de contribuir en la administración del recurso hídrico superficial.

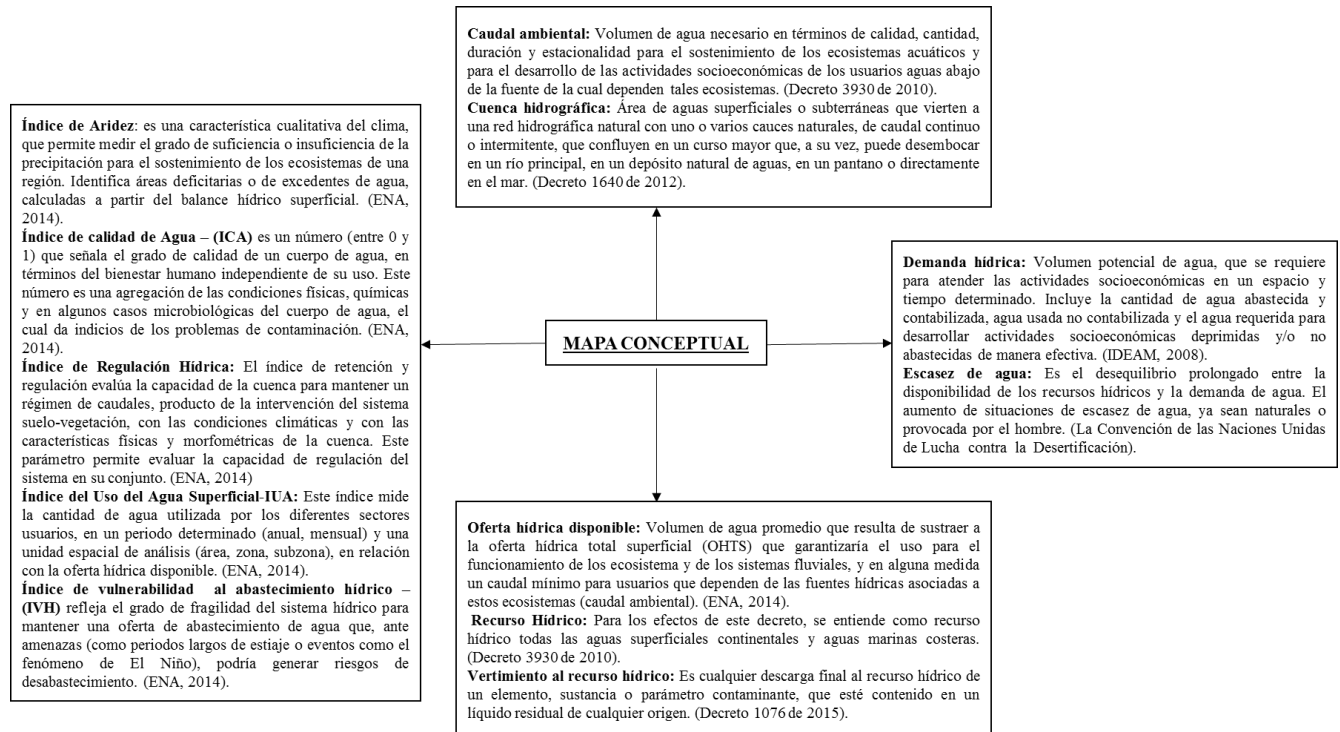
### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar y analizar las características morfométricas en las cuencas objeto de estudio.
- Estimar la oferta y demanda hídrica actual y principales características climatológicas en las cuencas analizadas.
- Estimar el caudal ambiental a partir de los lineamientos establecidos en el Estudio Nacional del Agua - 2014.
- Establecer los índices de regulación hídrica (IRH), aridez (IA), uso del agua (IUA), calidad del agua (ICA) y vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH).

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

En la Figura 2-1 se presenta de manera general las definiciones consideradas en la elaboración del estudio.



**Figura 2-1 Conceptos aplicados en el estudio**

*Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales., 2014 y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015*

### 2.2 MARCO TEORICO

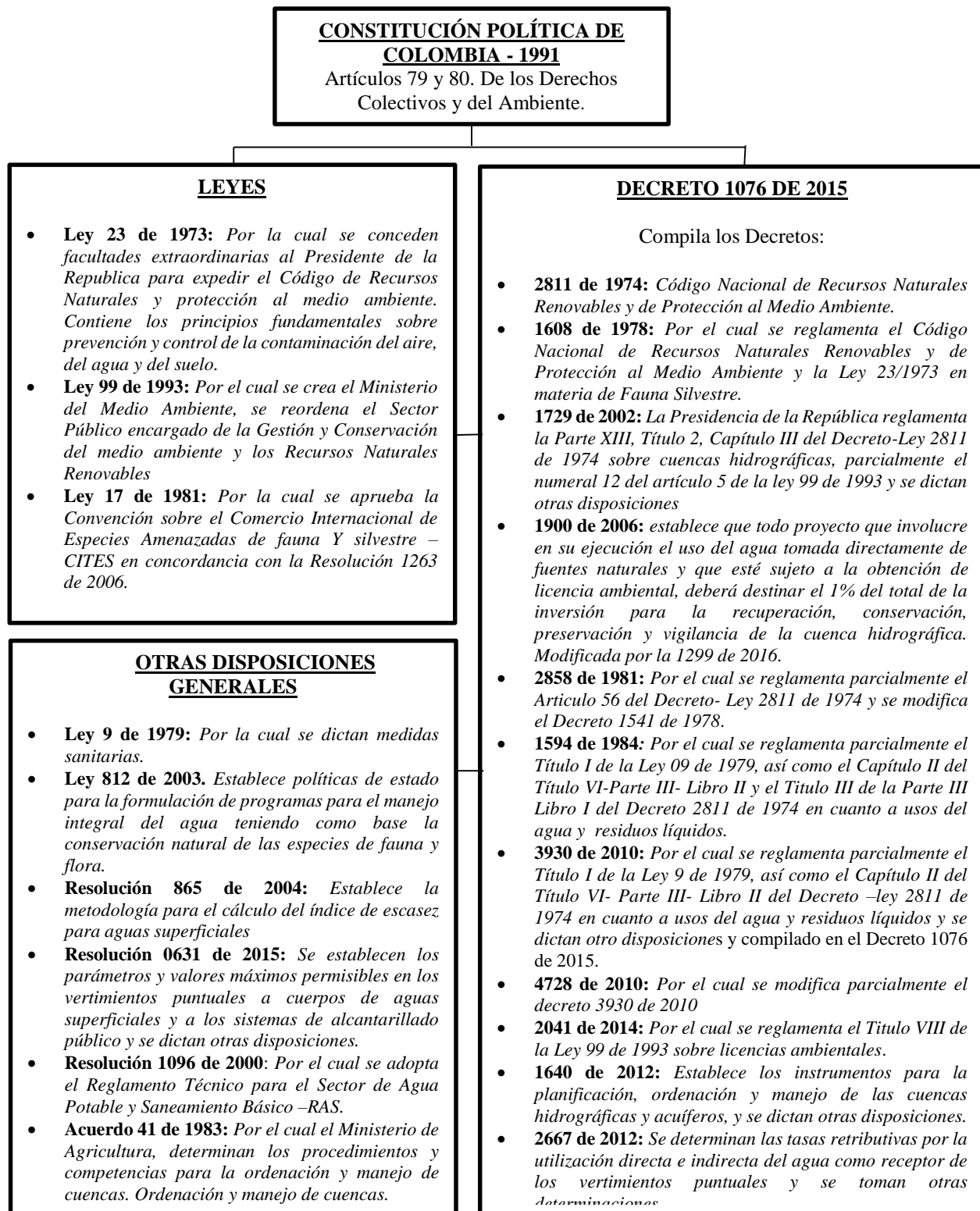
El comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica está en función de numerosos factores, entre los cuales predominan el clima y la forma del territorio. Las formas de la superficie terrestre y su relación con el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, pueden establecerse por medio de índices morfométricos, los cuales describen las características de paisajes complejos por medio de valores constantes. Así mismo, los índices morfométricos de las cuencas hidrográficas permiten determinar características importantes de forma, comportamientos en el entorno y en el flujo hídrico, que sirve de base para el análisis de cada una de las cuencas y la formulación de líneas de manejo prioritarias, relativas a la red hídrica. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR., n.d.).

Existen en el país pocas investigaciones que permitan tener una visión hidrológica del estado actual de la cuenca del Embalse de Tominé, en función del uso, calidad y cantidad del recurso hídrico dentro del área estudiada. No obstante, algunos estudios consideran estimar la demanda actual del recurso hídrico tomando como referencia la información de las concesiones otorgadas por las autoridades ambientales competentes; sin embargo, existe un porcentaje muy bajo de concesiones otorgadas legalmente por la CAR y CORPOGUAVIO. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca., 2006).

En el 2008, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Hoy Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA) estableció a la empresa energía de Bogotá el Plan de Manejo Ambiental del Embalse de Tomine, el cual fue acogido mediante Resolución 0776 del 15 de mayo de 2008. (Empresa de Energía de Bogotá, 2007). Lo anterior implica que la operación del embalse deberá *orientar a la implementación de acciones encaminadas a prevenir, corregir, mitigar y compensar los impactos ambientales negativos y a potencializar o fortalecer impactos positivos*. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2008).

Dada la importancia ambiental que representa el Embalse de Tominé, la cual está relacionada con bombear los caudales excedentes del Río Bogotá para generar energía eléctrica, brindar riego a la sabana de Bogotá, controlar inundaciones aguas abajo de la compuerta Achury y contribuir al abastecimiento de agua potable para Bogotá en la planta Tibitóc; las autoridades ambientales CAR y CORPOGUAVIO, formularon el plan de ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del Embalse de Tominé del cual hacen parte los ríos Siecha – Aves y principales tributarios, y de la unidad hidrográfica del río Teusacá y principales tributarios, en las jurisdicciones de la CAR y CORPOGUAVIO, las cuales pertenecen a la cuenca del Río Bogotá. (Unión Temporal Corpoguavio, Data Land Consulting y Planificación Integral Consultores S.A.S., 2015), cuyo objetivo era la elaboración de los estudios de balance hídrico en las cuencas que conforman la región hídrica mediante la implementación de los indicadores de la Evaluación Regional del Agua para diferentes escenarios hidrológicos.

## 2.3 MARCO JURIDICO

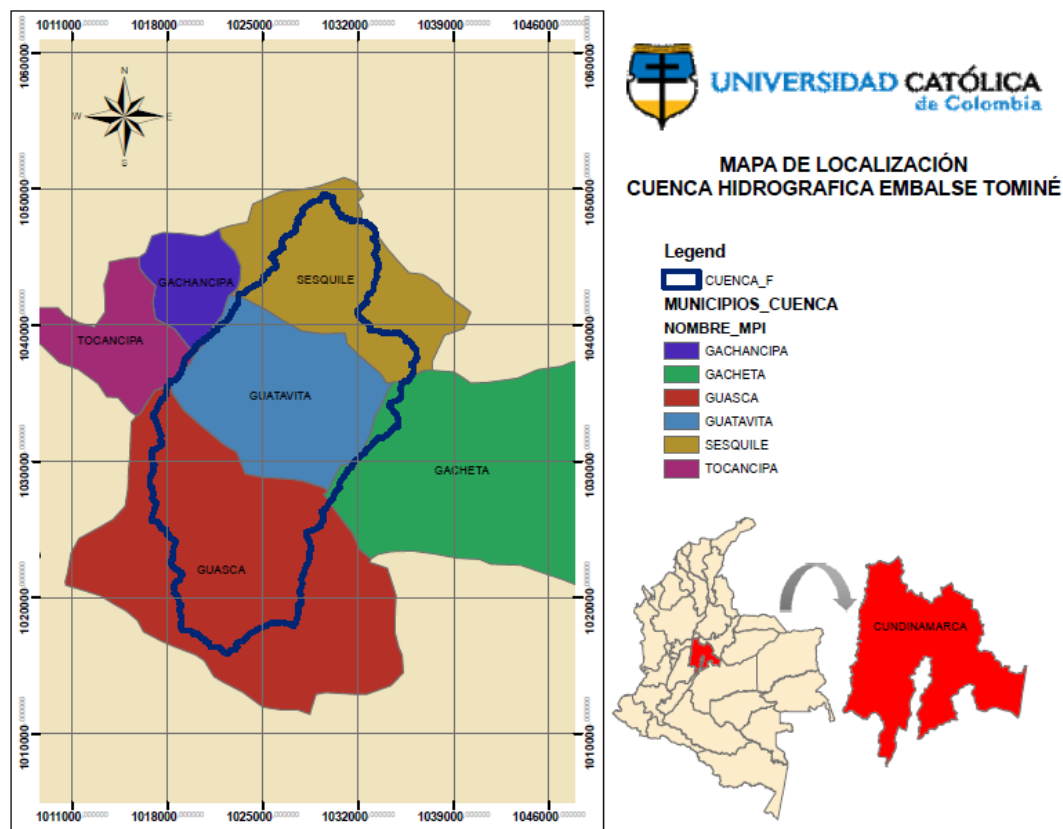


**Figura 2-2 Normatividad vigente aplicable**  
Fuente: Adaptado (<http://www.alcaldiabogota.gov.co>, n.d.)

## 2.4 MARCO GEOGRAFICO

### 2.4.1 Aspectos Generales

La cuenca objeto de estudio se encuentra ubicada a 50 Km al noreste de la ciudad de Bogotá, en los municipios de Guasca, Guatavita y Sesquilé sobre los afluentes Aves, Chipatá y Siecha, en jurisdicción de la CAR y CORPOGUAVIO, tiene un área de 366.60 km<sup>2</sup> pertenece a la parte alta de la cuenca del Río Bogotá sobre las cotas 3.750 a 2.600 m.s.n.m. y contribuye al abastecimiento del embalse de Tominé. La localización general de la cuenca en mención, se presenta en la Figura 2-3.



**Figura 2-3 Localización de la cuenca en estudio.**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

En la Tabla 2-1 se describe de manera cualitativa las características generales del área de estudio, en donde se puntualiza el estado actual de los diferentes medios, abiótico, biótico y social. Es importante mencionar que para realizar la caracterización ambiental se toma como referencia *el Plan de Manejo Ambiental para el Embalse de Tominé*”. (Empresa de Energía de Bogotá, 2007).



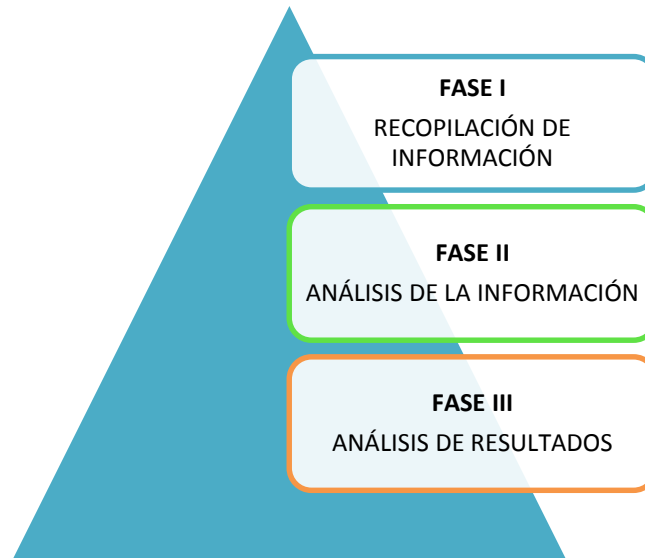
**Tabla 2-1 Caracterización abiótica, biótica y socioeconómica**

<b>CLIMA</b>	Bosque Húmedo Montano Bajo, Bosque Seco Montano Bajo y Bosque Húmedo Montano.
<b>GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA</b>	Se destaca la presencia de rocas sedimentarias, evidenciada por los patrones de crestas alargadas, colinas amplias y variedad de tonos y texturas, así como varios tipos de drenaje y cauces de diferente génesis. Estratigráficamente, se destacan las formaciones: Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor, Arenisca Tierna (del Cretáceo), Guadua (del cretáceo terciario), Cacho y Bogotá (del Terciario), Tilatá (del Cuaternario – Terciario). Dentro del Cuaternario, se registran los depósitos Coluvión, Aluvioterrenciales y Aluviales.
<b>HIDROGRAFIA</b>	El embalse es abastecido por las aguas de los afluentes Aves, Chipatá y Siecha que llegan por gravedad y por aguas (excedentes) que son bombeadas del río Bogotá. Adicionalmente la salida del embalse, se da a través del mismo río Tominé, el cual desemboca en el río Bogotá, aproximadamente a 3.0 km aguas abajo del sitio de presa. La subcuenca de Tominé tiene un área de 105,78 km <sup>2</sup> , un perímetro de 62 km, una altura media de 3000 m.s.n.m. y un alineamiento perpendicular al embalse.
<b>USO DEL SUELO</b>	Predomina la agricultura (cultivos transitorios e invernaderos), pastizales (pastos limpios, pastos arbolados, pastos en condiciones de drenaje deficiente y misceláneo), rastrojos, bosques plantados, superficies de agua.
<b>CONFLICTOS SUELO</b>	Se generan por la existencia de incompatibilidades entre el uso potencial y el uso actual, ocasionados por prácticas agrícolas, ganadería intensiva y sustitución de vegetación nativa por grandes áreas arborizadas con especies exóticas.
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	Corresponde a zonas cercanas al contacto entre la formación más superior del Grupo Guadalupe, Arenisca Tierna/ formación Guaduas, formaciones Cacho/Bogotá, y zonas de aluviones del río Siecha.
<b>PAISAJE</b>	Se encuentra fuertemente alterado por grandes áreas de pastizales dedicados a la ganadería, zonas de cultivos agrícolas y de flores. Adicionalmente, se evidencian áreas con vegetación exótica plantada y áreas menores (relictos) con vegetación secundaria de bosque montano seco.
<b>FAUNA</b>	Corresponde a especies endémicas de peces de la Sabana de Bogotá, el Capitán y la Guapacha, básicamente bentófagas.
<b>FLORA</b>	Presenta vegetación nativa reducida, que ha sido reemplazada por plantaciones de pinos, acacias y eucaliptos y altamente afectada por la extracción de leña.
<b>SOCIOECONÓMICO</b>	Predomina la agricultura, ganadería y una pequeña actividad minera y turística en Sesquilé y Guatavita. También se destaca el uso del embalse para navegación y la presencia de los clubes náuticos.

*Fuente: Tomado (Empresa de Energía de Bogota, 2007)*

### 3 METODOLOGÍA

Para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca objeto de estudio, se establecieron las fases metodológicas indicadas en la Figura 3-1, bajo las cuales se orientó el análisis de la información para dar cumplimiento al objetivo propuesto.



**Figura 3-1 Fases metodológicas**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

#### 3.1 FASE I – RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase se seleccionó el área objeto de estudio en el Embalse de Tominé y se realizó la búsqueda y recopilación de información cartográfica, normatividad vigente aplicable, caracterización ambiental y registros de estaciones hidroclimáticas, inventario de usos y usuarios y monitoreos de calidad de agua realizados por la CAR y CORPOGUAVIO. El detalle de la información obtenida se indica en la Figura 3-2.

IGAC	IDEAM	CARS	OTRO
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cartografía IGAC - escala 1.25.000</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Información de estaciones hidroclimáticas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Registros de estaciones hidroclimáticas</li><li>• Inventario de usos y usuarios</li><li>• Monitoreos de calidad de agua</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)</li></ul>

**Figura 3-2 Aspectos considerados en la Fase I**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

### 3.2 FASE II – ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En esta fase se realizó la revisión documental de la información obtenida de fuentes oficiales, referencias bibliográficas y publicaciones, así como el procesamiento de la misma para obtener datos confiables. En virtud de lo anterior, se utilizó el programa ArcGIS para ubicar cartográficamente, tabular y analizar los datos de la cuenca objeto de estudio. Además de efectuar los cálculos estadísticas para establecer el régimen hidrológico en el área de interés. El detalle de la información analizada se indica en la Figura 3-3.

REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	ANÁLISIS HIDROGRÁFICO	ANÁLISIS HIDROLÓGICO
<ul style="list-style-type: none"><li>•Cartografía base.</li><li>•Inventario de usos y usuarios.</li><li>•Registros de estaciones hidroclimáticas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Delimitación las cuencas.</li><li>•Morfometría area, perímetro, factor de forma, perfiles de los ríos Aves, Siecha y Chipara y curva hipsométrica, tiempos de concentración.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Homogeneidad y consistencia de datos.</li><li>•Llenado de datos faltantes.</li><li>•Detección de datos anómalos.</li></ul>

**Figura 3-3 Aspectos considerados en la Fase II**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

### 3.3 FASE III – ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta fase se realiza la interpretación de los resultados alcanzados en la cuenca estudiada. El detalle de la información obtenida se indica en la Figura 3-4.

PERSPECTIVA ACTUAL DEL RECURSO HÍDRICO
<ul style="list-style-type: none"><li>•Caracterización morfométrica de la cuenca</li><li>•Oferta hídrica</li><li>•Demanda</li><li>•Índice de Regulación Hídrica (IRH).</li><li>•Índice de Aridez (IA).</li><li>•Índice del Uso del Agua (IUA).</li><li>•Índice de Calidad del Agua (ICA)</li><li>•Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)</li></ul>

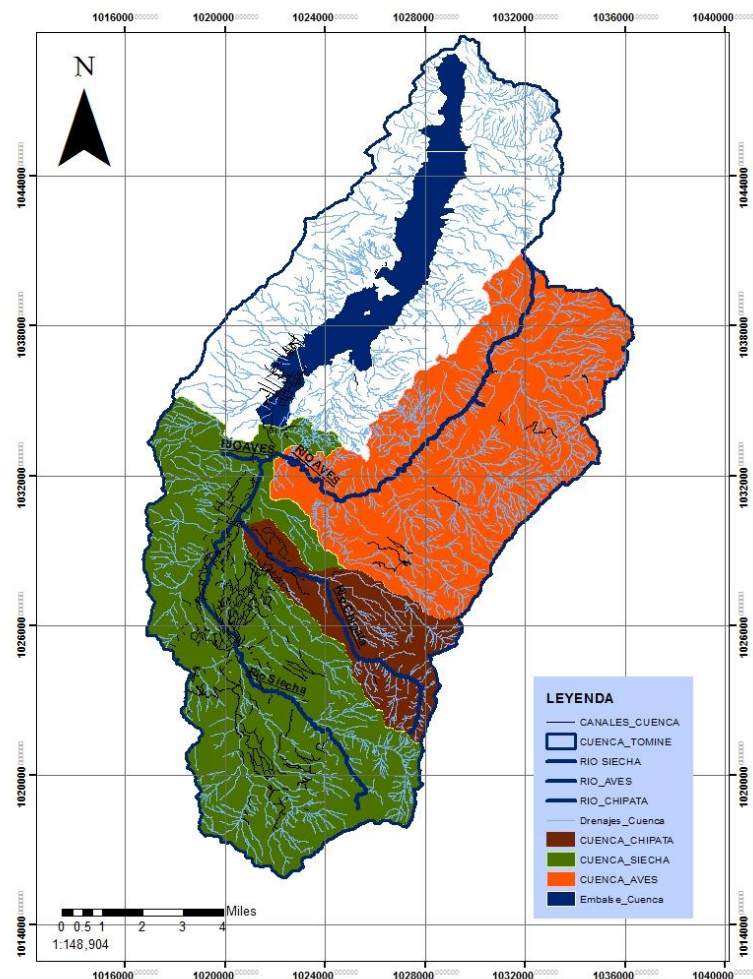
**Figura 3-4 Aspectos considerados en la Fase III**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS AVES, CHIPATÁ Y SIECHA

Una vez identificada y definida la base cartográfica, se obtuvo la cuenca objeto de estudio en el embalse de Tominé y posteriormente, se realizó la delimitación de los afluentes principales (Aves, Chipatá y Siecha) como se observa en la Figura 4-1. Del total del área de la cuenca que corresponde a 366.60 Km<sup>2</sup>, 27.6% corresponde a la cuenca del Río Aves, 7,56% a la del Río Chipatá, el 31,68% al Río Siecha y el 33,13% restante corresponde al área donde se ubica el Embalse del Tominé, así como a los drenajes y canales artificiales que lo bordean. La descripción morfométrica de cada una de las cuencas se indica en la Tabla 4-1. Para el análisis morfométrico de la cuenca se tomó como referencia los siguientes libros. (Rojas, 2009), (Montealegre, 2007), (ven te chow, David R. Maidment, 1987), (Global Water Partnership South America, 2011), (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2013), (Sáenz, 1995).



**Figura 4-1 Delimitación de la cuenca y localización de los afluentes principales**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

## 4.2 MORFOMETRÍA DE LAS CUENCAS

Para este tipo de estudios no solamente interesa el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, siendo necesario contar con un buen conocimiento de las características de la cuenca. En la Tabla 4-1 se indican las características morfométricas generales de la cuenca, asociadas a la forma, relieve y drenaje. Los cálculos morfométricos de la cuenca objeto de estudio se presentan en el Apéndice 1.

El área estudiada se caracteriza por contar con una gran densidad de drenajes que presentan patrones dendríticos, aspecto representativo en corrientes de montaña; además la cuenca analizada presenta una amplia variabilidad respecto a la forma, donde las más grandes corresponden al embalse de Tominé, seguida de los ríos Aves, Chipatá y Siecha que tienden a ser oblonga, oval oblonga y alargada respectivamente, lo que permite inferir que existe poca probabilidad de presentar crecidas súbitas; no obstante se pueden generar eventos torrenciales; así las cosas, se concluye que dependiendo del tipo y forma de cada cuenca se presenta o no una mayor capacidad de concentración.

**Tabla 4-1 Parámetros morfométricos de las cuencas estudiadas**

IDENTIFICACIÓN	CUENCA	EMBALSE TOMINÉ	RÍO AVES	RÍO CHIPATÁ	RÍO SIECHA
GENERALES	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	366.60	101.3	27.73	115.85
	Perímetro (Km)	128.8	58.302	31.5	80.3
	ALTURA MAXIMA (m.s.n.m.)	3750	3100	3450	3600
	ALTURA MINIMA (m.s.n.m.)	2600	2500	2600	2600
	CAIDA DE LA CUENCA HC (m)	1150	600	850	1000
	LONGITUD AXIAL (Km)	36.67	15.161	10.846	14.330
	LONGITUD CAUCE PPAL (Km)	65.18	23.418	14.170	8.670
FORMA	ANCHO PROMEDIO – W (Km)	11	7.3	5.1	13.4
	FACTOR DE FORMA (Rf)	0.3 OVAL OBLONGA	0.4 OVAL OBLONGA	0.2 ALARGADA B-PDH	0.6 OVAL REDONDA MA-PDH
	INDICE DE ALARGAMIENTO (Ia)	3 ALARGADA	2 ALARGADA	2 ALARGADA	1.07 REDONDA
	INDICE DE HOMOGENEIDAD	0.91	0.91	0.50	0.61
	INDICE DE ASIMETRIA (Ih)	0.91	0.91	0.50	0.61
	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (KC)	1.88 ALARGADA B-PDH	1.6 OVAL OBLONGA BM-PDH	1.6 OVAL OBLONGA BM-PDH	2 ALARGADA BM-PDH

IDENTIFICACIÓN	CUENCA	EMBALSE TOMINÉ	RÍO AVES	RÍO CHIPATÁ	RÍO SIECHA
	<b>PROCESO</b>	POCO HOMEGENIA - DEPOSICION AL	POCO HOMEGENIA - DEPOSICION AL	POCO HOMEGENIA - DEPOSICION AL	POCO HOMEGENIA - DEPOSICION AL
	<b>PDH</b>	ALTA	BAJA-MEDIA	BAJA	BAJA
<b>JERARQUIZACIÓN DE DRENAJES</b>	<b>PENDIENTE MEDIA DE LOS CAUCES (PM) - %</b>	18%	3%	6%	12%
	<b>N° ORDEN MÁXIMO</b>	6	6	5	6
	<b>N° DE CORRIENTES</b>	38.28	1690	168	1970
	<b>TOTAL LONGITUD (KM)</b>	1838.7	745	90.6	1003
	<b>DENSIDAD DE DRENAJE (KM)</b>	5.02	7.35	3.27	8.66
<b>TIEMPO DE CONCENTRACIÓN</b>	<b>MINUTOS</b>	622.77	553.55	296.41	492.44
	<b>HORAS</b>	10.38	9.23	4.94	8.21

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

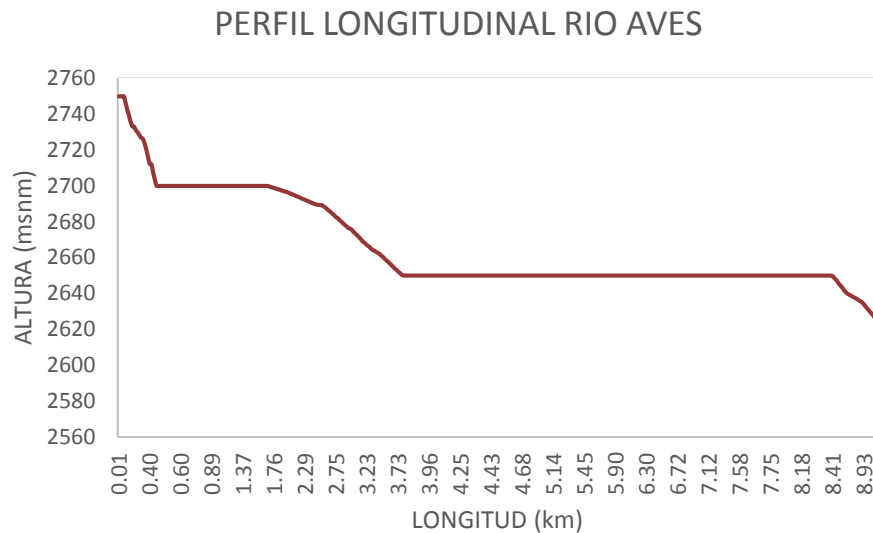
De acuerdo con la morfometría, las cuencas analizadas presentan características de flujo lento, donde el coeficiente de compacidad calculado del Embalse de Tominé y el Río Siecha presentan una forma Alargada con valores que oscilan entre 1.88 y 2.0 respectivamente, y los ríos Aves y Chipatá presentan el mismo coeficiente de compacidad correspondiente a 1.6, originando cuencas de forma oval oblonga. Ahora bien, respecto a los tiempos de concentración calculados, se tiene que el área de la cuenca del Embalse de Tominé registra el mayor tiempo de concentración toda vez que, necesita 622.77 minutos para aportar agua de escorrentía de forma simultánea a las cuencas analizadas, seguido de los ríos Aves con 533.55 minutos, Siecha con 492.22 minutos y Chipatá con 296.41 minutos.

Por otra parte, el índice de pendientes medias de las cuencas de los afluentes del Embalse de Tominé, presentan valores de 18% para el Embalse de Tominé, 12% Río Siecha, 6% Río Chipatá y 3% Río Aves, lo que permite concluir que en términos generales se presentan procesos deposicionales, los cuales están asociados al relieve plano, lo que la hace pobremente drenada. En tal sentido, se puede inferir que la velocidad del agua es baja en épocas secas y se incrementa solo en épocas de invierno con altas precipitaciones, así mismo, existe poca probabilidad de presentar crecidas súbitas; no obstante se pueden generar eventos torrenciales.

En relación al orden de las corrientes, este es uno de los criterios que caracterizan geomorfológicamente un afluente, pudiendo ser empleados para definir el grado de ramificación de la misma. Por consiguiente, el rango en las corrientes principales que drenan al Embalse de Tominé va de 5 a 6; en donde las de orden más alto corresponden a los drenajes principales de las cuencas de los afluentes Aves, Chipatá y Siecha.

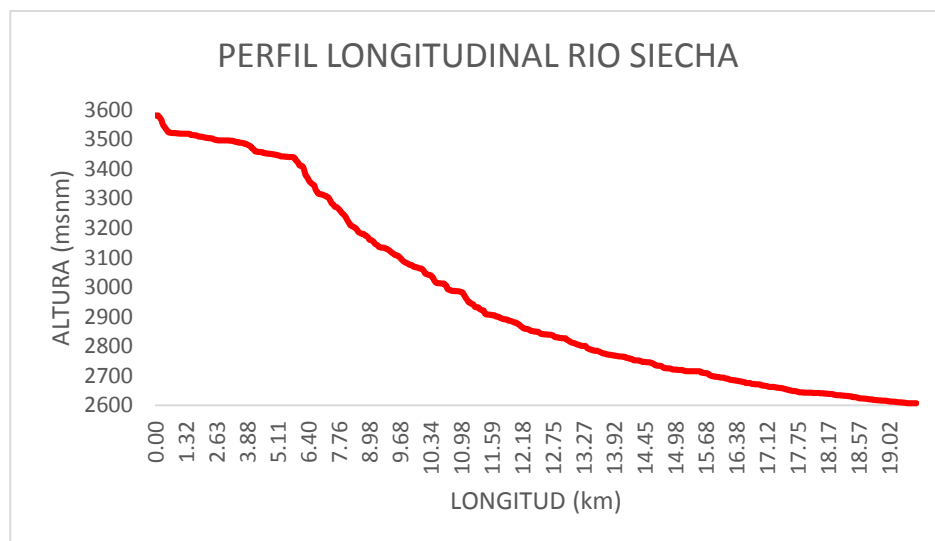
### 4.2.1 Perfil Longitudinal del Cauce

Los perfiles longitudinales de los principales afluentes que conforman la cuenca en el embalse de Tominé, permiten relacionar gráficamente la longitud del cauce con respecto a la altura sobre el nivel del mar (Figura 4-2, Figura 4-3 y Figura 4-4)



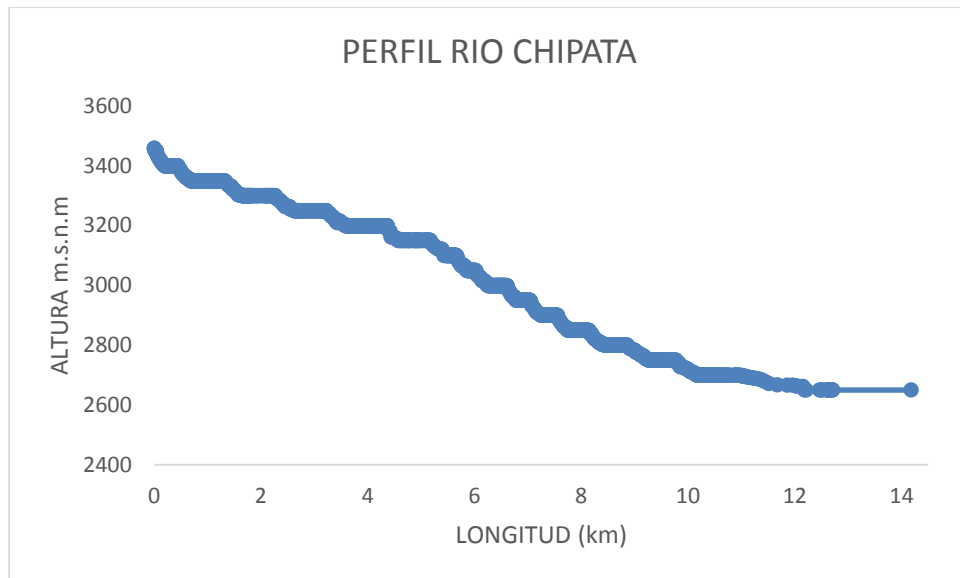
**Figura 4-2 Perfil Longitudinal Río Aves**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*



**Figura 4-3 Perfil Longitudinal Río Siecha**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*



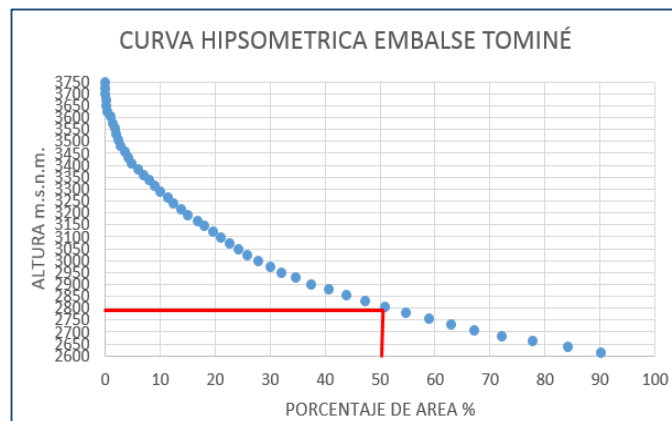
**Figura 4-4 Perfil Longitudinal río Chipatá**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

En cuanto a los perfiles longitudinales de los afluentes principales que conforman la cuenca en el Embalse de Tominé, los mismos presentan una característica similar relacionada con altas pendientes en sus primeros kilómetros de recorrido y descensos hasta los 2.700 m.s.n.m. El Río Aves desciende hasta 2.700 m.s.n.m., en tan solo 0.4 km hasta su unión con el Río Siecha, el mismo desciende a la altura de los 3.400 m.s.n.m. en 6.4 km, así mismo, el Río Chipatá en 12 km desciende a los 2.650 m.s.n.m. En virtud de lo anterior, se infiere que en la parte baja de estas cuencas se transportan grandes volúmenes de sedimentos y existe una alta probabilidad de ocasionar crecientes durante las fuertes épocas de lluvias.

#### 4.2.2 Curva Hipsométrica

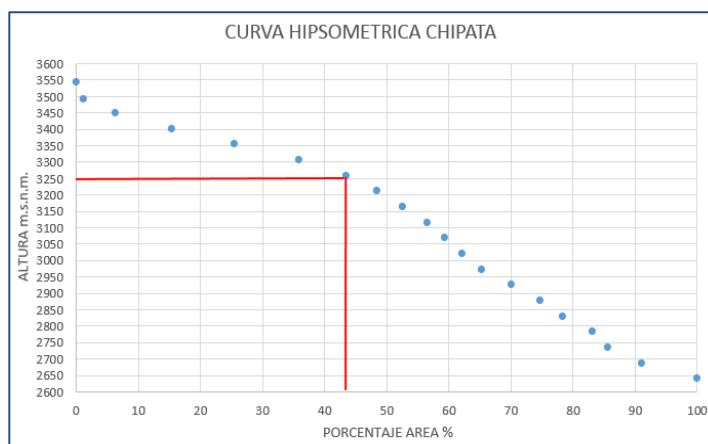
Con el fin de determinar las distintas cotas del terreno en función de la superficie de la cuenca, a continuación se presentan las curvas hipsométricas para cada una de las cuencas analizadas.



**Figura 4-5 Curva Hipsométrica embalse Tominé**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

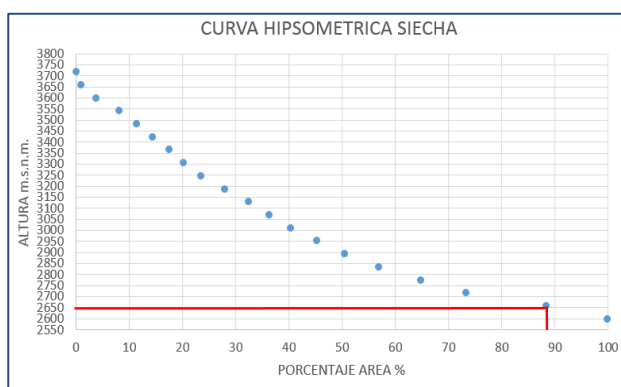




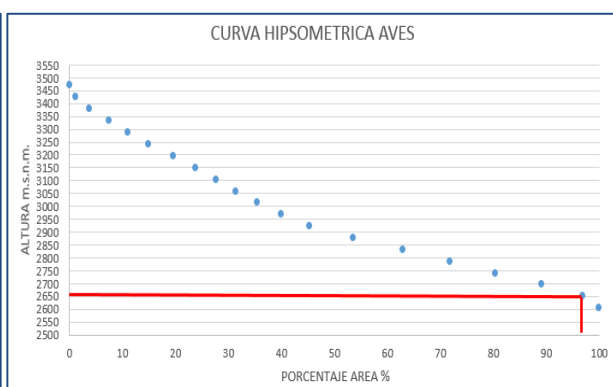
**Figura 4-6 Curva Hipsométrica río Chipatá**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

La curva hipsométrica del embalse de Tominé permite concluir que la cuenca es sedimentaria y se encuentra en una fase de vejez, así mismo se observa el punto de inflexión a la altura de los 2.800 m.s.n.m. en donde se alcanza el 50% del área de la cuenca (Figura 4-5); situación contraria a la que se presenta en la cuenca del Río Chipatá, en donde se puede observar una cuenca en equilibrio que se encuentra en fase de madurez, cuyo punto de inflexión se observa a la altura de los 3.250 m.s.n.m. y abarca un 43% del área de la cuenca (Figura 4-6).



**Figura 4-8 Curva Hipsométrica río Siecha**



**Figura 4-7 Curva Hipsométrica río Aves**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Finalmente, las curvas hipsométricas de los ríos Aves y Siecha permiten inferir que son cuencas sedimentarias en una fase de vejez, en donde aproximadamente a una altura de 2.650 m.s.n.m. se tiene más o menos el 90 % del área (Figura 4-7 y Figura 4-8).

### 4.2.3 Zonificación Climática

Las clasificaciones climáticas tienen la función de estructurar conjuntos homogéneos de las condiciones climáticas, con la finalidad de identificar y delimitar áreas como regiones climáticas;

en este sentido y para el presente estudio, se utilizó la clasificación climática de Caldas – Lang para determinar la zonificación climática tomando como referencia los siguientes documentos. (Organización Meteorológica Mundial., 2011a), (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2005), (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014a).

En la Tabla 4-2, Tabla 4-3 y Tabla 4-4, se presentan los rangos y los tipos climáticos de la clasificación climática de Caldas – Lang para la cuenca objeto de estudio.

**Tabla 4-2 Pisos Térmicos de Caldas cuenca Embalse Tominé**

Piso Térmico	Símbolo	Rango de Altura	Temperatura °C
Frío	F	2001 a 3000	13-14
Páramo Bajo	Pb	3001 a 3700	12

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

**Tabla 4-3 Grado de Humedad de Lang Cuenca Embalse Tominé**

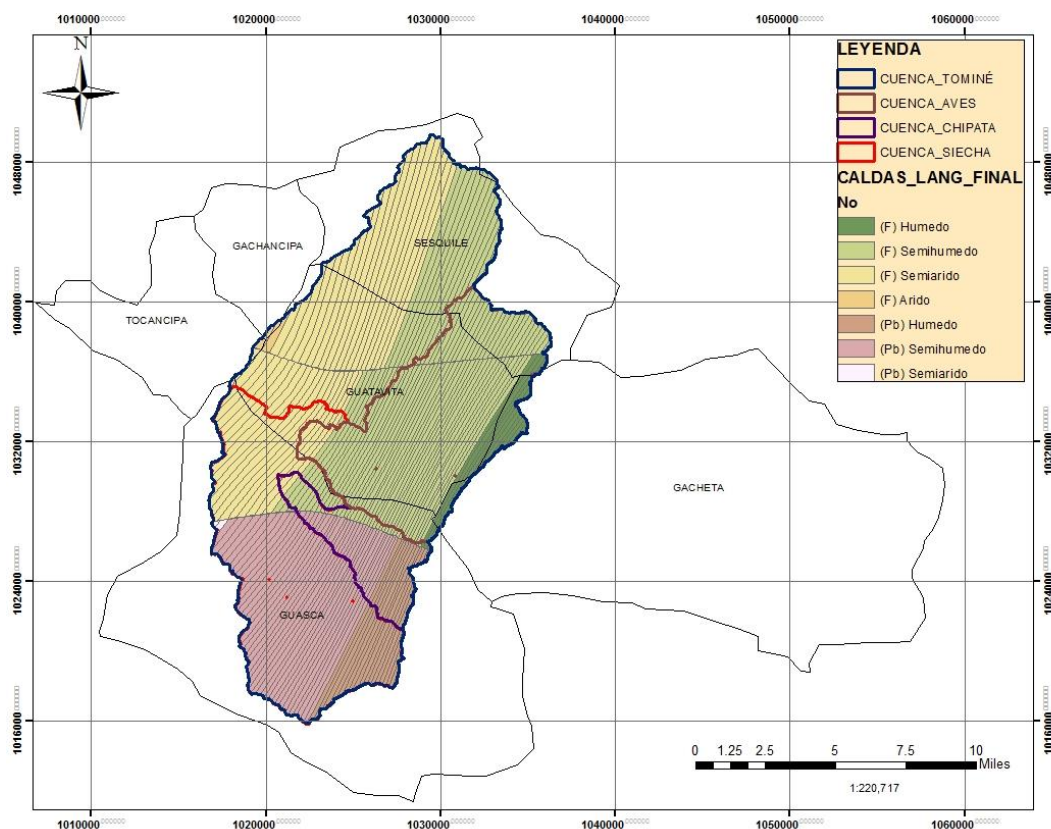
Factor de Lang (P/T)	Símbolo	Clase de Clima
20.1 a 40.0	A	Árido
40.1 a 60.0	sa	Semiárido
60.1 a 100.0	sh	Semihúmedo
100.1 a 160.0	H	Húmedo

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

**Tabla 4-4 Tipo climatológicos sistema Caldas – Lang Cuenca Embalse Tominé**

Tipo Climático	Símbolo
Frío húmedo	FH
Frío semihúmedo	Fsh
Frío semiárido	Fsa
Frío árido	FA
Páramo húmedo	PH
Páramo semihúmedo	Psh
Páramo semiárido	Psa

*Fuente: Elaboración propia, 2017*



**Figura 4-9 Zonificación Climática de la cuenca del Embalse de Tominé**

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

En concordancia con lo definido en el mapa de factor de humedad de Lang y los pisos térmicos existentes en el área de estudio, se observa que predominan los climas fríos y de páramo bajo con condiciones húmedas y semihúmedas, que en la medida que descende por la cordillera Oriental hacia la Orinoquía varían a Húmedo, tal como se observa en la Figura 4-9, en la cual se realiza la distribución gráfica de los diferentes tipos de clima por cuenca de estudio.

### 4.3 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

A partir de la información morfométrica calculada y las series climatológicas e hidrológicas disponibles en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, se seleccionaron nueve estaciones hidroclimatológicas identificadas como Potrero Largo (PM), San José (PM), San Isidro (PM), Guatavita (CP), Guasca (CO), Potreritos (PM), La Vega (LG), San Isidro (LM) y Santo Domingo (LM) localizadas y distribuidas en el sitio de interés, cuyas características generales se indican en el Apéndice 2.

Las estaciones seleccionadas para caracterizar las condiciones hidroclimáticas del área de estudio cumplen con registros históricos homogéneos mayores a 15 años (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014b), de los cuales se utilizaron datos de caudal medio en el período 1984-2014, temperatura media que abarcan el período 1980 a 2015, brillo solar en el período 1984 a 2014 y precipitación total mensual en el período 1987 a 2015; así mismo, las series de datos se encuentran por encima del 80% (Organización Meteorológica Mundial., 2011b). En virtud de lo anterior, se concluye que se cuenta con información suficiente de las estaciones con un rango de datos disponibles que oscila entre 332 y 424 registros dependiendo de la estación como se indica en la Tabla 4-5, lo cual proporciona unos niveles altos de confiabilidad en la calidad de la información equivalente a un rango entre el 89% y 99% respectivamente. En el Apéndice 2 se detallan los registros analizados.

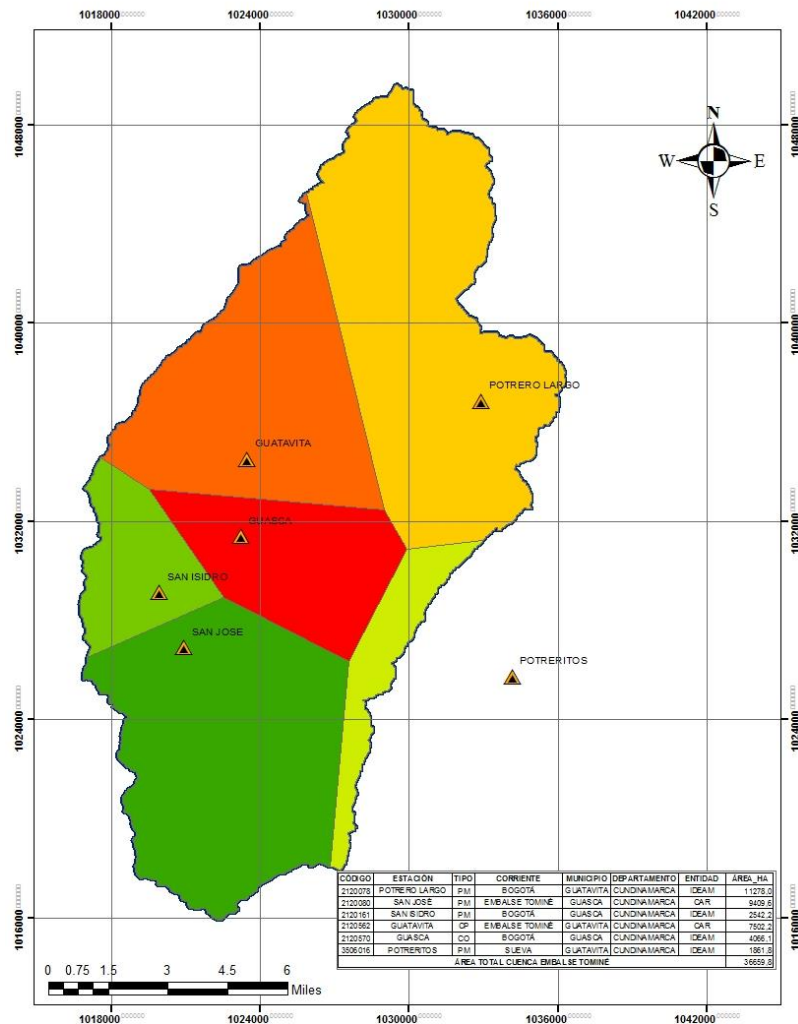
**Tabla 4-5 Registros analizados**

ESTACIONES	BRILLO SOLAR		CAUDAL MEDIO		PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL		TEMPERATURA MEDIA	
	DATOS							
	D	F	D	F	D	F	D	F
POTRERO LARGO					343	5		
SAN JOSÉ					338	10		
SAN ISIDRO					340	8		
GUATAVITA	332	40			331	17	319	29
GUASCA					321	27	424	8
POTRERITOS					326	22		
LA VEGA			403	17				
SAN ISIDRO			405	15				
SANTO DOMINGO			359	61				

D: Disponible, F: Faltantes

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Adicionalmente para los datos de precipitación se elaboraron polígonos de Thiessen (método de interpolación basado en la distancia euclidiana) para establecer la distribución de las estaciones en relación con la cuenca estudiada (Figura 4-10), considerando que la topografía del área es baja al presentar pendientes medias que varían entre el 3% al 18%. Con base en lo anterior, se concluye que la estación Potrero Largo es la más representativa al ocupar 31% del área de la cuenca, asimismo, se puede considerar que la estación Potreritos es la menos representativa para estimar los valores de precipitación, al ocupar el 5% del área de la cuenca, estimada en 36660 Ha.



**Figura 4-10 Distribución de estaciones de precipitación en la cuenca**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

### 4.3.1 Homogeneidad y consistencia

Este análisis se realizó a las variables de precipitación total mensual y temperatura media en los períodos indicados en el Numeral 4.3, aplicando la correlación lineal entre las seis (6) estaciones seleccionadas (análisis de dobles masas). En virtud de lo anterior, se obtuvo como resultado líneas rectas sin cambios significativos en la pendiente, producto de las treinta (30) correlaciones efectuadas a los registros de precipitación y una (1) única correlación a los registros de temperatura media, lo que permiten concluir que en términos generales existe proporcionalidad entre las series de datos, en donde el mejor ajuste se presenta entre las estaciones San Isidro y Guasca con un valor de 0,970 para registros de precipitación y de 0,851 para los registros de temperatura media como se observa en la Tabla 4-6, lo que da cuenta de la calidad y confiabilidad de los datos para generar un estimado aproximado de un eventual dato faltante. Los resultados obtenidos del análisis de dobles masas entre estaciones se presentan en el Apéndice 2.

**Tabla 4-6 Correlación entre estaciones con registros de precipitación**

ESTACIÓN	POTRERO LARGO	SAN JOSÉ	SAN ISIDRO	GUATAVITA	GUASCA	POTRERITOS
POTRERO LARGO		0,863	0,426	0,152	0,425	0,913
SAN JOSÉ	0,863		0,708	0,395	0,715	0,898
SAN ISIDRO	0,426	0,708		0,878	0,970	0,514
GUATAVITA	0,152	0,395	0,878		0,865	0,213
GUASCA	0,425	0,715	0,970	0,865		0,501
POTRERITOS	0,913	0,898	0,514	0,213	0,501	

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

**Tabla 4-7 Correlación entre estaciones con registros de temperatura media**

ESTACIÓN	GUATAVITA	GUASCA
GUATAVITA		0.851
GUASCA	0.851	

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

#### **4.3.2 Llenado de datos**

Para el llenado de datos faltantes de un determinado mes de precipitación total mensual o temperatura media, se utilizaron las ecuaciones obtenidas en la regresión lineal y los datos disponibles de la estación con la cual se efectuó el mejor ajuste. Sin embargo, es importante indicar que para los registros de temperatura media de la estación Guatavita, no fue posible completar los datos de los meses de mayo de 2009 y marzo y abril de 2013, debido a que la estación Guasca con la que se realizó la correlación es la única estación que mide esta variable. Los resultados obtenidos del llenado de datos faltantes se presentan en el Apéndice 2.

#### **4.3.3 Detección de datos anómalos**

Este análisis se realizó a las variables de precipitación total mensual y temperatura media mediante diagramas de cajas y bigotes, los cuales permiten observar la dispersión o concentración de los datos analizados y determinar los datos atípicos que se encuentran por fuera de los límites calculados. En términos generales se puede concluir que la distribución mensual de datos se ubica proporcionalmente por encima y por debajo de la mediana (Quartil 2); no obstante se destaca que para el mes de mayo los valores de precipitación mensual multianual registrados en las seis (6) estaciones oscilan entre 88,30 a 224,30 mm y la temperatura media mensual multianual varía entre 13,50 a 14,50 ° C en las dos estaciones de referencia, evidenciando una mayor estabilidad en los datos (Quartil 2).

Adicionalmente, se infiere del diagrama de cajas y bigotes que las estaciones presentan un comportamiento bimodal, siendo el mes de julio el de mayor precipitación en la cuenca,

alcanzando valores de 120,09 mm y los meses de enero, febrero y diciembre donde se presentan los valores más bajos, siendo enero el mes con menor registro, con un valor de 33,93 mm. Los resultados obtenidos del análisis de cajas y bigotes se presentan en el Apéndice 2.

#### 4.4 OFERTA HÍDRICA

La estimación de la oferta hídrica total y disponible de las cuencas de los ríos Aves, Chipatá y Siecha se realizó a partir de la aplicación de la metodología propuesta en el Estudio Nacional del Agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, 2014) usando los registros de caudales medios de las estaciones La Vega, San Isidro y Santo Domingo localizadas en dichos afluentes con niveles de confiabilidad de 96% para las dos primeras y 85% para la última, siendo representativo el régimen de las corrientes anteriormente mencionadas. Con base en lo anterior, se pudo concluir que la mayor oferta hídrica total se presenta en la cuenca del Río Siecha con un valor de 1.32 m<sup>3</sup>/s, seguido de la cuenca Río Aves con 1.28 m<sup>3</sup>/s y finalmente la cuenca el Río Chipatá con un valor de 0.82 m<sup>3</sup>/s (Tabla 4-8).

De otra parte, con las curvas de duración de caudal construidas se pudo estimar el caudal ambiental de las cuencas de los ríos Aves, Chipatá y Siecha como el 75% del volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales, pudiendo concluir que al presentar las cuencas estudiadas disponibilidad hídrica aún no se pone en peligro el caudal ambiental.

Finalmente, se calculó la oferta hídrica disponible, descontando para cada una de las cuencas analizadas el caudal ambiental. Los resultados obtenidos permiten concluir que la mayor oferta hídrica disponible se presenta en la cuenca del Río Siecha con un valor de 0.67 m<sup>3</sup>/s, seguido de la cuenca Río Aves con un valor de 0.46 m<sup>3</sup>/s y finalmente la cuenca el Río Chipatá con un valor de 0.32 m<sup>3</sup>/s (Tabla 4-8). El detalle de los cálculos efectuados para la estimación de la oferta hídrica se presenta en el Apéndice 2.

**Tabla 4-8 Oferta hídrica superficial**

AFLUENTE	Q AMBIENTAL (m <sup>3</sup> /s)	OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE (m <sup>3</sup> /s)
Aves	0.82	0.46
Chipatá	0.50	0.32
Siecha	0.65	0.67

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Adicionalmente, se efectuó un balance hídrico como la diferencia entre la precipitación media mensual multianual en mm y el cálculo de la evapotranspiración potencial de la cuenca para cada mes, ésta última obtenida a partir del método de Turc (Turc, 1961), el cual contempla las variables de radiación solar y temperatura media mensual para su estimación, obteniendo para este estudio un valor promedio anual de 73.87 mm de evapotranspiración potencial (Tabla 4-9) y una oferta estimada de 10.36 m<sup>3</sup>/s. El detalle de los cálculos efectuados para la estimación de la evaporación potencial se presenta en el Apéndice 2.

**Tabla 4-9 Evapotranspiración potencial**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL (mm/año)
84.20	78.08	78.75	69.48	67.55	66.05	69.99	72.64	75.51	74.17	73.55	76.42	73.87

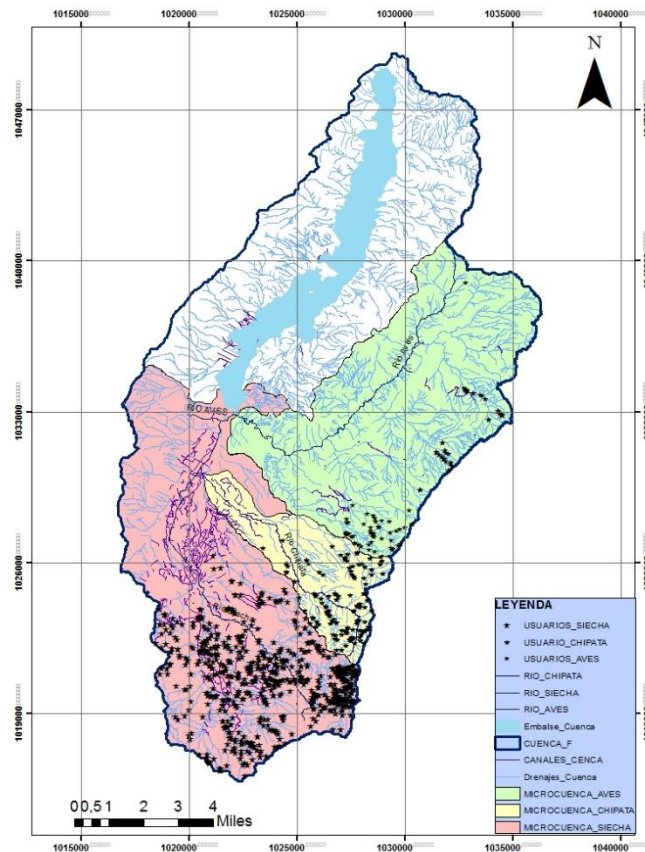
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Finalmente, se realizó un balance agrícola para obtener la evapotranspiración real (ETR) a partir de los cálculos obtenidos en la Tabla 4-9 y los coeficientes de cultivo propuestos en el Estudio de la Evapotranspiración del cultivo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006) para los principales productos que se cultivan en el área de estudio y que corresponden a papa, hortalizas, legumbres, fresas y flores, de este análisis se puede concluir que la mayor evapotranspiración real se presenta en los cultivos de flores y fresas con un valor promedio anual de 89.7 mm. El detalle de los cálculos efectuados para la estimación de la evaporación real se presenta en el Apéndice 2.

#### **4.5 DEMANDA**

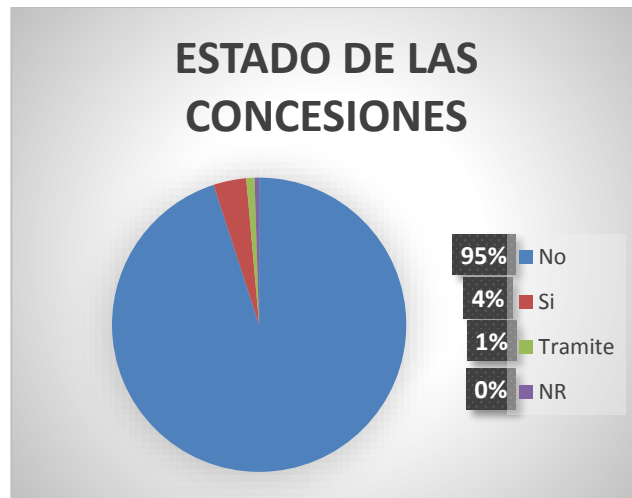
El análisis de demanda hídrica se realizó a partir del inventario de usos y usuarios del recurso hídrico realizados por la CAR y CORPOGUAVIO en el año 2009 y 2013, en los cuales se realizó la estimación de las demandas de agua por usuario y por sector productivo para cada una de las cuencas analizadas. La estimación de la demanda por este método implicó el procesamiento y depuración de las bases de datos respectivas, ubicación cartográfica de usuarios y cálculo de la demanda, tal como se muestra en la Figura 4-11. Los resultados obtenidos de la demanda se presentan en el Apéndice 3.



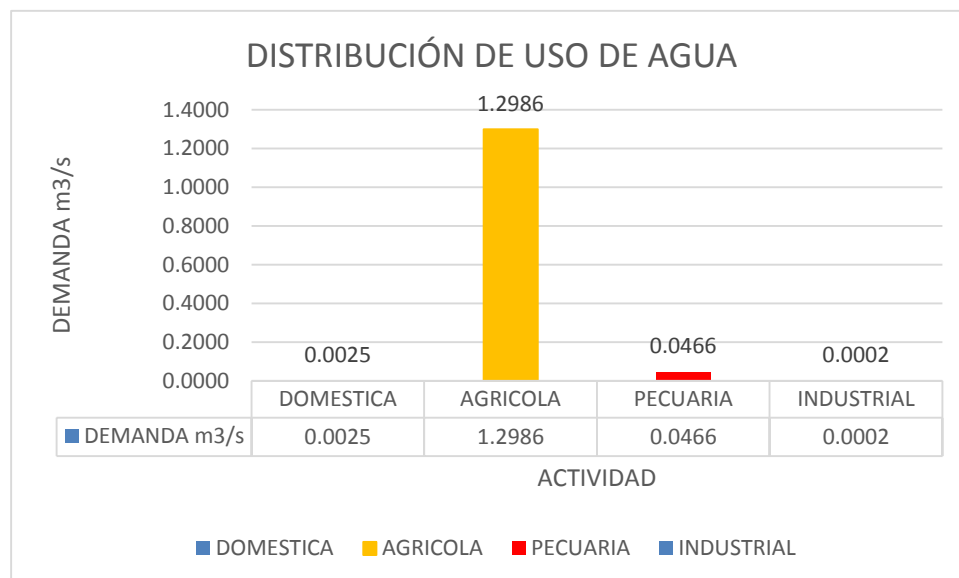


**Figura 4-11 Usuarios Cuenca Embalse de Tominé**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Se puede concluir que en total se identificaron 998 usuarios en el área de estudio, como resultado del análisis se observa que el mayor número de usuarios se localizan en la cuenca del afluente Siecha con 725 usuarios identificados, seguido de los afluentes Chipatá y Aves con 137 y 136 usuarios respectivamente. Es importante mencionar que el 95% de los usuarios no cuenta con concesiones autorizadas por parte de la Autoridad Ambiental Competente (Gráfica 4-1).



**Gráfica 4-1 Estado de las concesiones**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*



**Gráfica 4-2 Distribución de Demanda doméstica y por sectores productivos**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

De acuerdo a lo anterior, se estima que la demanda hídrica total de las cuencas de estudio es de  $1.347 \text{ m}^3/\text{s}$ , con mayores requerimientos para el sector agrícola ( $1.2986 \text{ m}^3/\text{s}$ ) correspondiente al 96.34% seguido del sector pecuario con  $0.0466 \text{ m}^3/\text{s}$  que equivale a un 3.45%, así mismo se estima una demanda para el sector doméstico de  $0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$  con un valor de 0.19% y finalmente el sector industrial con una demanda de  $0.0002 \text{ m}^3/\text{s}$  con un valor de 0.02%.

#### 4.6 INDICADORES DE REGULACIÓN, PRESIÓN Y CALIDAD HIDRICA

Los índices de estado y regulación que fueron calculados en las cuencas de los ríos Aves, Chipatá y Siecha presentan un índice de regulación hídrica de 0.63, 0.61 y 0.60 respectivamente (Tabla 4-10), lo que se traduce en una baja capacidad de la cuenca para retener y regular el agua, infiriendo

que esto obedece a la variabilidad entre caudales máximos y mínimos por los regímenes hidrológicos presentes en el área; así mismo, frente al índice del uso del agua calculado, se obtuvo una estimación para los ríos Aves, Chipatá y Siecha de 77.63, 35.99 y 234.26 (Tabla 4-11) respectivamente, evidenciando que los mismos se ubican en un rango de valores entre 20 y mayores de 100, lo que significa una alta presión de la demanda en relación de la oferta disponible y que pasa a ser crítica en la cuenca del Río Siecha en donde se encuentra el mayor número de usuarios que corresponde a 725 en relación con las cuencas de los Ríos Aves y Chipatá que cuentan actualmente con 136 y 137 usuarios, pudiendo inferir en términos generales que actualmente se presentan conflictos en el uso del agua en la cuenca del Río Siecha que afectan la disponibilidad hídrica en la misma.

**Tabla 4-10 Resultados Índice de Regulación Hídrica – IRH**

ID	AFLUENTE	VP	Vt	INDICE DE REGULACIÓN HÍDRICA (IRH)
1	Aves	1.03	1.62	0.63
2	Chipatá	0.68	1.11	0.61
3	Siecha	0.98	1.64	0.60

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

**Tabla 4-11 Resultados Índice del Uso del Agua – IUA**

ID	AFLUENTE	OFERTA HÍDRICA DISPONIBLE (m³/s)	DEMANDA TOTAL (m³/s)	INDICE DE USO DEL AGUA (IUA)
1	Aves	0.46	0.36	2.58
2	Chipatá	0.32	0.24	2.75
3	Siecha	0.67	0.75	5.26

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Frente al índice de vulnerabilidad al desabastecimiento calculado en las cuencas de los ríos Aves, Chipatá y Siecha mediante la matriz de decisión en la cual se conjugaron los Índices de Uso del Agua (IUA) y el Índice de Regulación Hídrica (IRH), se puede observar que predomina la condición de alta vulnerabilidad denotando la fragilidad de las cuencas para mantener la oferta existente y el riesgo al desabastecimiento que podría llegar a afectar a los usuarios de la cuenca del embalse de Tominé asociados el 96% al sector agrícola, seguido del 3.45% que corresponde al sector pecuario, 0.18 % al sector doméstico y 0.016% al sector Industrial.

**Tabla 4-12 Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento – IVH**

ID	AFLUENTE	IUA	IRH	IVH
1	Aves	Muy Alto	Bajo	Alto
2	Chipatá	Alto	Bajo	Alto
3	Siecha	Crítico	Bajo	Muy Alto

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

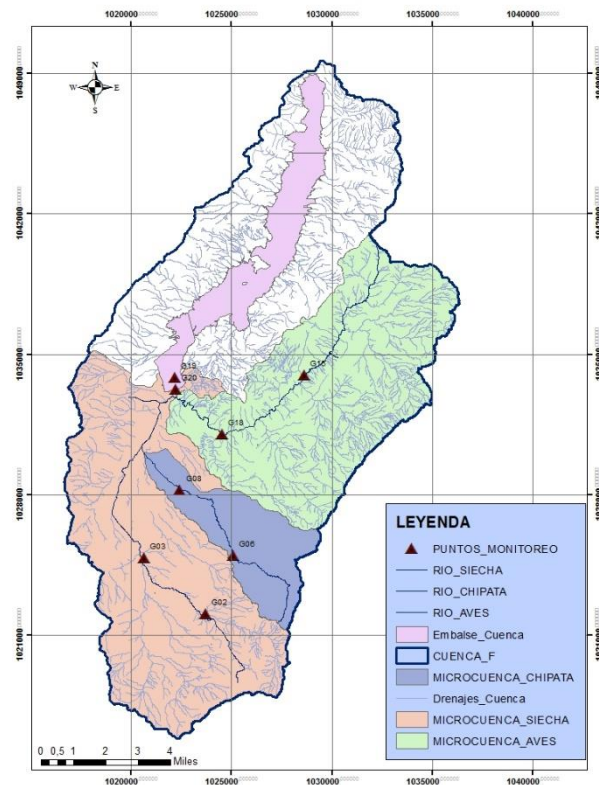
Respecto al índice de aridez se puede concluir que la cuenca estudiada presenta un valor de 0.065 (Tabla 4-13) indicando excedentes de agua asociados a las características climatológicas húmedas y semihúmedas obtenidas para el área de estudio a partir de los resultados de la zonificación climática de Caldas Lang, permitiendo concluir que se podrá garantizar el sostenimiento de los ecosistemas.

**Tabla 4-13 Resultados Índice de Aridez – IA**

ID	ETP (mm/año)	ETR (mm/año)	IA
1	73.87	69.10	0.065

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

Finalmente, para el cálculo del índice de calidad del agua se tomaron como referencia los monitoreos realizados por la Corporación Autónoma Regional del Guavio – CORPOGUAVIO a finales del año 2015 y primer trimestre de 2017 sobre los ríos Aves, Chipatá y Siecha, cuya localización se indica en la Figura 4-12 (Unión Temporal Corpoguavio, Data Land Consulting y Planificación Integral Consultores S.A.S., 2015), (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (2006). Objetivos de Calidad del Agua para la cuenca del río Bogotá. Acuerdo 43., 2006).



**Figura 4-12 Puntos de Calidad de Agua analizados**  
*Fuente: Elaboración propia, 2017*

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ríos Aves, Chipatá y Siecha, se concluye que en general se presentan niveles de contaminación aceptable (Tabla 4-14) en relación al análisis efectuado sobre los parámetros de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, Nitrógeno Kjeldahl Total, fósforo disuelto total, Unidades de pH, Conductividad eléctrica y Escherichia coli (sólo se incluye en el análisis de 8 parámetros ); no obstante, es claro que las actividades agrícolas y ganaderas generan contaminación asociada a materia orgánica, alterando la calidad de agua. Es de resaltar que se destacan características de eutroficación en el área debido a que en todos los puntos monitoreados, se registra la presencia de fósforo. Los resultados obtenidos en relación los índices anteriormente mencionados, se presentan en el Apéndice 4.

**Tabla 4-14 Resultados Índice de Calidad de Agua – ICA**

PUNTO	NOMBRE DEL PUNTO	ICA CON 7 PARAMETROS CAMPAÑA 1	ICA CON 8 PARAMETROS CAMPAÑA 1	ICA CON 7 PARAMETROS CAMPAÑA 2	ICA CON 8 PARAMETROS CAMPAÑA 2
G02	Alto Siecha	0.87	0.76	0.83	0.74
G03	Confluencia Chiguanos Siecha	0.79	0.68	0.79	0.69
G06	Río Chipatá Alto Resbalones	0.91	0.79	0.90	0.79
G08	Río Chipatá Estación Santo Domingo	0.87	0.79	0.86	0.75

PUNTO	NOMBRE DEL PUNTO	ICA CON 7 PARAMETROS CAMPAÑA 1	ICA CON 8 PARAMETROS CAMPAÑA 1	ICA CON 7 PARAMETROS CAMPAÑA 2	ICA CON 8 PARAMETROS CAMPAÑA 2
G15	Río Aves confluencia Corales Aguas arriba	0.71	0.62	0.82	0.71
G18	Río Aves – Estación la Vega	0.65	0.57	0.85	0.76
G19	Río Aves aguas arriba desembocadura río Siecha	0.77	0.69	0.73	0.63
G20	Aguas arriba Embalse del Tominé	0.67	0.59	0.58	0.50

*Fuente: Elaboración propia, 2017*

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca estudiada presenta características de flujo lento con poca probabilidad de presentar crecidas súbitas, pudiendo generar eventos torrenciales. Asimismo, en la parte baja se transportan grandes volúmenes de sedimentos y existe una alta probabilidad de ocasionar crecientes durante fuertes épocas de lluvia.

Del análisis morfométrico de las cuencas, los perfiles de los ríos principales, la altimetría y la zonificación climática se concluye que las cuencas de los Ríos Aves, Chipatá y Siecha se encuentran ubicadas en ecosistemas de páramo, los cuales son zonas de retención y almacenamiento de agua lluvia, ocasionando que sean de recarga hídrica en la parte alta de la cuenca y de descarga en la parte baja.

La validación de los registros seleccionados permite concluir que las estaciones analizadas cuentan con datos en un rango entre el 89 y 99%, evidenciando la consistencia en la toma de datos que reduce la incertidumbre en la calidad de la información y proporciona una mayor aproximación del comportamiento de las variables hidrológicas.

El balance hídrico para los ríos Aves, Chipatá y Siecha arroja como resultado 10,36 m<sup>3</sup>/s. No obstante, la oferta hídrica disponible de la cuenca corresponde a 3.41 m<sup>3</sup>/s, evidenciando una diferencia de 6.95 m<sup>3</sup>/s que puede estar asociada al proceso de infiltración o percolación de las aguas subterráneas.

La mayor demanda de agua en la cuenca estudiada se genera por las actividades agrícolas que se realizan en inmediaciones al afluente Siecha en donde se cultiva una gran variedad de productos como papa, hortalizas, legumbres, entre otros.

El índice de la calidad del agua estimado indica que el agua presenta condiciones aceptables en el área de estudio; sin embargo, al presentar cargas contaminantes asociadas a coliformes fecales, están dan cuenta que se encuentran por fuera de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo 43 de 2016 y limita su uso para consumo humano.

Es importante que las entidades administradoras del recurso hídrico ejerzan mayor vigilancia sobre los vertimientos clandestinos en las áreas rurales donde se localiza la cuenca estudiada a fin de minimizar la contaminación en los afluentes Aves, Chipatá y Siecha; así como el seguimiento al mantenimiento preventivo y/o correctivo de los sistemas de tratamiento existentes en los municipios de interés, con el fin de mejorar las condiciones físicoquímicas y microbiológicas del agua.

Pese a que la subcuenca hidrográfica del embalse de Tominé se encuentra enmarcada dentro Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, se recomienda a las entidades administradoras del recurso hídrico gestionar la instrumentación de cuencas de menor orden como las de los afluentes Aves, Chipatá y Siecha con el fin de poder efectuar un diagnóstico más detallado de sus condiciones actuales que incluya entre otros, los componentes de aguas subterráneas, pérdida de coberturas vegetales y disminución de la zona de páramo, de manera que fortalezca la gestión integral y sostenible del recurso hídrico en el área de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Consejo superior Universidad Catolica de Colombia. (2016). La Investigación en la Universidad Católica de Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (n.d.). Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la cuenca hidrografica del río Sumapaz. *CAPITULO 1, Pagina 6*.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (2006). Objetivos de Calidad del Agua para la cuenca del río Bogotá. Acuerdo 43. (2006). Objetivos de Calidad del Agua para la cuenca del río Bogotá. *Acuerdo 43*.
- Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca. (2006). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá*.
- Empresa de Energia de Bogota. (2007). *Plan de Manejo Ambiental del Embalse de Tominé*.
- Global Water Partnership South America, S. G. de L. (2011). *¿ Que es cuenca Hidrológica?*
- <http://www.alcaldiabogota.gov.co>. (n.d.). DIARIO OFICIAL. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2005). *Distribución Espacio - Temporal de las variables del clima-PARTE II*.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). *Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2008). Resolución 0766.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014a). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014b). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076. *Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible, 1(53), 654*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Estudio Nacional del Agua*.
- Montealegre, J. E. (2007). Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. *IDEAM*, 1–83.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*.



Organización Meteorologica Mundial. (2011a). *Guía de Prácticas climatológicas*.

Organización Meteorologica Mundial. (2011b). *Guía de prácticas climatológicas-Anexo*.

Rojas, R. (2009). *Hidrologia aplicada al manejo de cuencas*. Universidad de los Andes.  
<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Sáenz, G. M. (1995). *Hidrologia en la Ingenieria*.

Unión Temporal Corpoguavio, Data Land Consulting y Planificación Integral Consultores S.A.S.  
(2015). *Formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Unidad  
Hidrográfica del Embalse de Tominé*.

ven te chow, David R. Maidment, L. W. M. (1987). *Hidrologia Aplicada*.

## **APÉNDICES**

APÉNDICE 1. MORFOMETRIA DE LAS CUENCAS.

APÉNDICE 2. HIDROLOGIA.

APÉNDICE 3. DEMANDA TOTAL.

APÉNDICE 4. INDICADORES DE REGULACIÓN, PRESIÓN Y CALIDAD HÍDRICA.